

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Ondřej Krajcar

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Řízení rychlosti pohonu zátky krystalizátoru
plazmové pece

Speed Control Actuator for Cap Mold Plasma
Furnace

2014

Ondřej Krajcar

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Ondřej Krajcar

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

**Řízení rychlosti pohonu zátky krystalizátoru plazmové pece.
Speed Control Actuator for Cap Mold Plasma Furnace.**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte průzkum trhu v oblasti napájecích jednotek dvoufázových krokových motorků.
2. Rozeberte možnosti komunikace, řízení a ovládání těchto jednotek.
3. Specifikujte požadavky na způsob ovládání rychlosti pohonu zátky krystalizátoru plazmové pece.
4. Na základě pokynů vedoucího diplomové práce navrhnete způsob řízení rychlosti nezávisle na řídicím PC.

Seznam doporučené odborné literatury:

Firemní literatura dodavatelů pohonných jednotek, firemní literatura RMS Technologies (www.rmsmotion.com).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování:

*Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce
panu Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. za odborné vedení a ochotu při konzultacích.*

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

V Ostravě, dne 7.5.2014

Podpis: 

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je specifikovat způsob ovládání a komunikaci napájecích jednotek dvoufázových krokových motorů firmy RMS Technologies a ostatních firem na trhu. Speciálně je zaměřena pozornost na jednotku firmy RMS Technologies R356 u které navrhuji možnost komunikace bez možnosti řízení přes PC ale nahrazením pomocí externího zařízení. Toto zařízení má za úkol ovládat plynule rychlost krokového motoru pro rovnoměrný tavicí průběh na zátce krystalizátoru plazmové pece. Součástí práce je návrh a realizace ovládacího zařízení jednotky R356 pomocí mikroprocesoru PIC18F14k22 firmy Microchip.

Klíčová slova

Krokový motor, RS-485, ASCII znaky, LCD, inkrementální spínač, EUSART.

Abstract

The subject of this bachelor thesis be specified by method of control and communication supply units of two-phase stepper motors firm RMS Technologies and other firms on the market. Special attention is paid per unit of the company RMS Technologies R356 at which suggest the possibility of communication without the possibility of control via PC but replacing using an external device. This device has the task control fluently speed stepper motor for even melting course of the cap mold plasma furnace. Part of this work is the design and realization a control device units R356 using the microcontroller PIC18F14K22 of firm Microchip.

Key Words

Stepper motor, RS-485 ASCII characters, LCD, incremental switch, EUSART.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
a	$[s \cdot m^{-2}]$	Zrychlení
I_{MAX}	[A]	Maximální proud
R	$[\Omega]$	Odpor
T	[s]	Perioda
U_i	[V]	Vstupní napětí
v	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost

Seznam použitých zkratek

Značka	Anglický význam	Český význam
BIN	Binary number	Binární číslo
BRG	Baud rate generátor	Hodiny pro sériovou linku
DC	Direct current	Stejnoseměrný proud
E	Enable	Aktivování obvodu
DB0 - DB7	Data bit	Datové bity
DEC	Decimal number	Desítkové číslo
HEX	Hexadecimal number	Šestnáctkové číslo
LED+	Light emitting diode	Světelná dioda anoda
LED-	Light emitting diode	Světelná dioda katoda
LOG 0	Logic low	Logická úroveň nula
LOG 1	logic High	Logická úroveň jedna
MCU	Microcontroller unit	Mikroprocesor
MIPS	Million instruction per second	Milion instrukcí za sekundu
ON/OFF	ON/OFF	Zapnutí/vypnutí
PPS	Pulse per second	Pulzů za sekundu
RS	Registr select signál	Registrový výběr
R/W	Read/Write select signál	Signál pro čtení nebo zápis
VDD	Positive supply voltage	Kladné napájecí napětí
Vo	Contrast adjust	Nastavení kontrastu
VSS	Negative supply voltage	Záporné napájecí napětí

Obsah

Úvod.....	8
1. Průzkum trhu v oblasti napájecích jednotek dvoufázových krokových motorků... 9	
1.1. AMCI - Advance Micro Controls - AMCI SD7540A	9
1.2. All Motion - EZHR17EN.....	10
1.3. Arcus Technology - ACE-SDE.....	11
1.4. Shanghai UI Robot Technology - UMI 241	12
2. Rozeberte možnosti komunikace, řízení a ovládání těchto jednotek.....	13
2.1. Vlastnosti RMS Technologies R356.....	13
2.2. R356 optický snímač nastavení polohy	13
2.3. Výchozí nastavení R356	14
2.4. Elektrické specifikace	14
2.5. Komunikační parametry.....	15
2.6. Mechanické rozměry.....	15
2.7. D-sub konektor.....	16
2.8. Konektor pro krokový motor	17
2.9. ASCII znaky.....	17
2.10. DT Protokol	18
2.10.11. Hlavní příkazy.....	20
2.12. Zpětné hlášení	24
3. Způsob ovládání rychlosti pohonu zátky krystalizátoru plazmové pece	25
3.1. Krokový motor.....	25
3.2. Krystalizátor plazmové pece.....	27
4. Navrhněte způsob řízení rychlosti nezávisle na řídicím PC	30
4.1. Návrh způsobu řízení	30
4.2. Sériový přenos RS485.....	32
4.3. Inkrementální spínač	34
4.4. LCD display	37
4.4.1. Nastavení funkce.....	38
4.4.2. LCD ON / OFF Nastavení	39
4.4.3. Vymazání displeje.....	39
4.5. MCU PIC18F14K22	42
4.6. EUSART asynchronní sériová linka.....	42
4.7. Použité DT protokoly.....	44
4.7.1. Ukončení rotace	44
4.7.2. Nastavení rychlosti.....	45
4.7.3. Nastavení směru rychlosti na nulu.....	46
4.7.4. Nastavení směru rotace	46
4.8. Napájení jednotky pro řízení rychlosti.....	48
4.8.1. Napájecí konektor na panel.....	48
4.8.2. Napájecí konektor na kabel.....	49
Závěr	50
Použitá literatura	51
Přílohy.....	52

Úvod

V této bakalářské práci mám za úkol navrhnout způsob řízení zátky krystalizátoru plazmové pece a vyrobit prototyp funkční jednotky jako náhrada stávajícího řešení s PC.

První kapitola je zaměřená na nejdůležitější specifikace vlastností daných jednotek od různých výrobců. Každý výrobce mívá většinou více různých jednotek pro dané výkonové a řídicí možnosti proto jsou uvedeny jen ty které jsou použitelné jako náhrada za jednotu R356.

Druhá kapitola se zaměřuje na komunikaci, řízení a ovládání jednotky R356 firmy RMS Technologies. Jsou zde popsány vlastnosti jednotky R356 co vše jednotka umí dále elektrické specifikace napájecího napětí a provozních hodnot. Popis připojení jednotlivých pinů pro ovládání a připojení krokového motoru a vysvětlení komunikačních parametrů DT protokolu, kterým se přenáší všechny adresové a řídicí znaky pomocí ASCII kódů. Jsou vysvětleny provozní příkazy polohy, rychlosti, cyklování, mikrokrokování atd. Na konec je vysvětleno zpětné hlášení o správnosti přijatých dat při komunikaci.

Třetí kapitola má za úkol vyřešit požadavky na ovládání rychlosti pohonu zátky krystalizátoru plazmové pece, jsou zde zobrazeny jednotlivé požadavky pro plynulý nastavitelný pohyb pro konkrétní typ krokového motoru a určit rychlost pohybu pro minimální a maximální nastavitelnou hranice rychlosti. Dále je zde ukázky konstrukce a připojení zátky krystalizátoru ke krokovému motoru.

Čtvrtá kapitola řeší celkovou činnost celého zařízení podle požadavku pro plynule nastavitelnou rychlost zátky krystalizátoru. Základem je vysvětlení hlavního způsobu návrhu jednotlivých částí obvodů mikroprocesorů a hlavního vývojového diagramu obsluhy jednotlivých částí. Hlavním základem je inkrementální spínač vysvětlený v grafickém a vývojovém diagramu jenž plní funkci nastavení rychlosti. Pro zobrazení aktuálních hodnot rychlosti je použit LCD display, vysvětlují zde nastavení displeje a rozvržení jednotlivých textů na displeji a co znamenají. Poslední částí je vysvětleno nastavení sériového přenosu a použité příkazy DT protokolu pro nastavení požadované činnosti.

1. Průzkum trhu v oblasti napájecích jednotek dvoufázových krokových motorků.

Na trhu se objevuje mnoho výrobců napájecích jednotek dvoufázových motorů lišící se způsobem použití ať jsou to mechanickými rozměry nebo složitost řízení těchto jednotek tak i provozními specifikacemi. Proto uvedu některé příklady které jsou nejvíce podobné jednotce kterou popisují ve druhé kapitole.

1.1. AMCI - Advance Micro Controls - AMCI SD7540A



Obrázek 1. Jednotka AMCI SD7540A

- Bipolární výkonový obvod s dvěma H můstky a 20kHz PWM
- Dvoufázové řízení krokových motorů
- Napájení 24V (maximálně 4A) až 75V DC
- Programovatelné proud 0,4 - 4,0 A / 5,66 A špičkově
- Nastavitelný počet kroků na otočku 400, 1000, 2000, 5000
- Držící proud 0 - 70 % z nastaveného proudu
- Programování přes RS232 se softwarovým rozhraním a SPI
- CSMD-5 kabelové sériové rozhraní
- Tři opticky izolované rozdílové vstupy pro krok, směr a stop
- Programovací software AMCI SPI interface software
- Provozní teplota 0 °C až 50 °C

1.2. All Motion - EZHR17EN



Obrázek 2. Jednotka EZHR17EN

- Napájení 12V až 40V maximálně 2A
- Miniaturní rozměry 40 mm x 40 mm
- Plně inteligentní motorový kontrolér
- Navrženo pro přímé našroubování ke krokovému motoru
- 4 vodičova sběrnice - dva napájecí a dva komunikační vodiče
- Možnost zapojení až 16 zařízení dohromady na jedné sběrnici
- Programovací software EZStepper
- Komunikace přes RS-232, RS-485 nebo USB
- Protokolové řízení pomocí ASCII znaků
- Samostatné spuštění s předem nastavenými požadavky
- 4 ADC vstupy
- Možnost vnitřních smyček čekající na reakci spínače

1.3. Arcus Technology - ACE-SDE



Obrázek 3. Jednotka ACE-SDE

- USB 2.0 a RS-485 komunikace
- Podpora Modbus RTU
- Digitální I/O komunikace
- Napájení 12V až 48V
- 100mA až 3A proudové nastavení
- 2 - 500 mikrokroků na krok
- Opticky izolované digitální vstupy (6)
- 2x 10 bitový analogový vstup - (Joystick)
- 1MHz pulzní vstup
- Programovací software ACE-SDE GUI
- ASCII instrukční příkazy

1.4. Shanghai UI Robot Technology - UMI 241



Obrázek 4. Jednotka UMI 241

- Snadné připevnění na krokový motor
- Hliníkový kryt pro lepší odvod tepla
- Napájecí napětí 12V až 40V DC
- Vstupní proud 2/4/8A nastavitelný
- Plné 16 mikrokrokové rozlišení
- Dvojitý H můstek s PWM regulací proudu
- Přesná mikrokroková regulace proudu
- Komunikace po RS-232 v maximální rychlosti 57600 bps
- Pokročilé řízení pohybu lineární a nelineární zrychlení a zpomalení
- Dva senzorové vstupy
- 8 programovatelných vstupů
- ASCII instrukční příkazy

2. Rozeberte možnosti komunikace, řízení a ovládání těchto jednotek.

2.1.Vlastnosti RMS Technologies R356

- Napájecí napětí od +12 V do 40V.
- Jedna dvou vodičova sběrnice RS-485 pro propojení až 16 pohonů sběrnici.
- 3.0 Ampérový maximální nastavitelný proud s PWM řízení.
- 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256 rozlišení kroku.
- Samostatný provoz bez připojení k PC.
- Možnost připojení tlačítka pro provedení zastavení (halt).
- Interně vstupy pro optický snímač.
- Nastavitelná počáteční poloha pomocí optického snímače a jednoho příkazu.
- Plně programovatelné zrychlení a rychlosti.
- Čtyři digitální I / O vstupy a dva pevné vstupní kanály.
- Kódový přepínač pro určení adresy řídicí jednotky.
- Programově nastavitelné pohybové (Move) a držící (Hold) proudy.
- Dva vstupy lze použít pro levé a pravé omezující spínače.
- Použití přístroje jako řídicí obvod s možností přijímat TTL impulsy pro jednotlivé kroky.
- Připojení vstupu optického snímače pro korekci polohy.
- Držící proud automaticky vybrán po ukončení krokového pohybu.

2.2. R356 optický snímač nastavení polohy

Jednotka ke svojí činnosti pro správné nastavení a korekci polohy potřebuje optický snímač, který musí být nainstalován na krokovém motoru nezbytný pro zpětnou vazbu pro jednotku. Režim korekce polohy lze zapnout tak, že bude neustále posílat čidlo krokové impulsy, dokud se žádaná poloha a skutečná poloha nebudou rovnat. Při poruchovém stavu jednotka pošle chybovou zprávu. Pro správnou funkci je třeba nejprve nastavit jednotku pro práci s kódem, pochopení CPR a výpočtu poměru snímače.

2.3. Výchozí nastavení R356

Jednotka R356 ve výchozím stavu má nastavené tyto hodnoty:

Tabulka 1 - Výchozí nastavení

Příkaz	Výchozí hodnoty:
Pohybový proud (Running Current) - m	25% z 3.0 Ampér
Držicí proud (Holding Current) - h	10% z pohybového proudu
Rozlišení kroku (Step Resolution) - j	256x
Nejvyšší rychlost (Top Velocity) - V	305175 pps (mikrokroků/sekundu)
Zrychlení (Acceleration) – L	$L=1000, 6103500 \mu\text{krok} / \text{s}^2$
Pozice (Position)	0
Mikrokroková hladkost (Microstep smoothness) - o	1500
Výstupy (Outputs) - J	Vstupy jsou vypnutý
Přenosová rychlost (Baud Rate)	9600 bps (bits per second)

2.4. Elektrické specifikace

- Napájecí napětí: +12 V do +40 V
- Špičkový proud: 0.3 A až 3.0 A
- Počet I/O pinů: 4
- Počet vstupů: 2
- Vstupní napětí: +0 VDC až +5 VDC
- Vstupní proud: 700 mA
- Pull – up rezistor: 20 k Ω
- Ochrana mikroprocesoru před elektrostatickým nábojem
- Pro 1.8° krokový motor je rozlišení počty kroků na otáčku: 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800, 25600, 51200
- Provozní specifikace
 - Maximální frekvence kroku: 2^{24} (pps) nebo 16.7MHz
 - Rozsah provozních teplot: 0 ° C až 50 ° C
 - Rozsah skladovacích teplot: -20 ° až 70 ° C

2.5. Komunikační parametry

Typ rozhraní RS-485 (RS-232 nebo USB s převodníkem)

Přenosová rychlost 9600 (výchozí), 19200 nebo 38400 bps

Bitů na znak: 8 datových

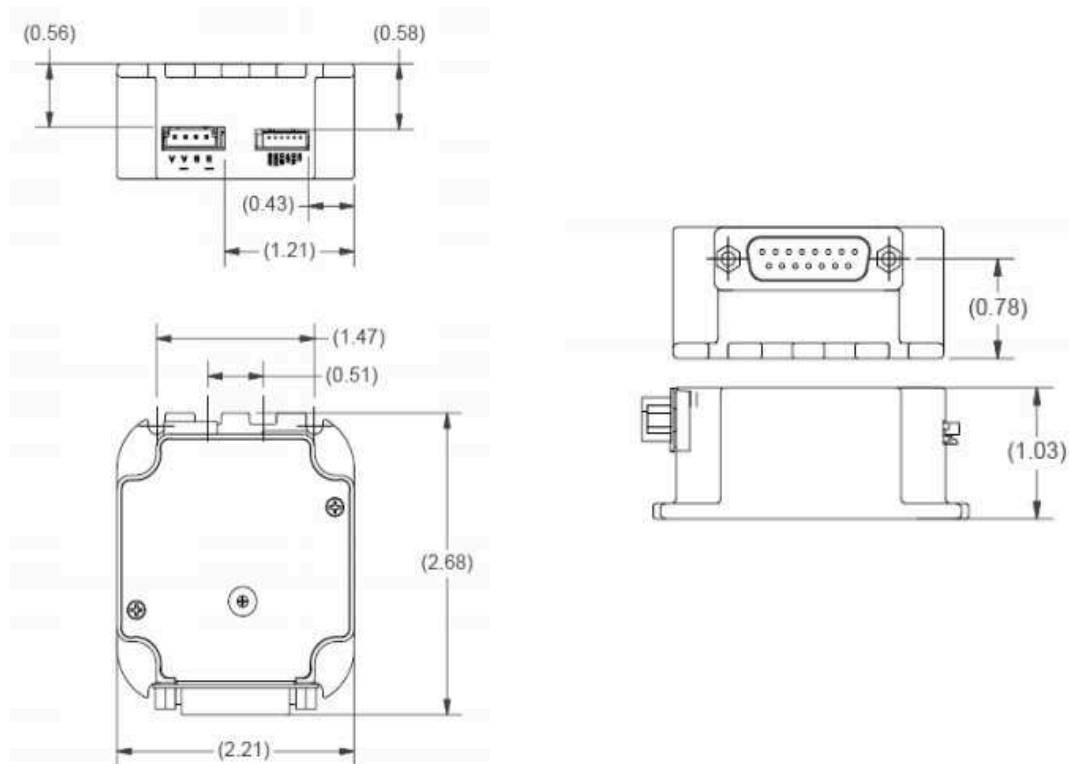
Parity: žádné

Stop bit: jeden

Řízení toku: žádné

2.6. Mechanické rozměry

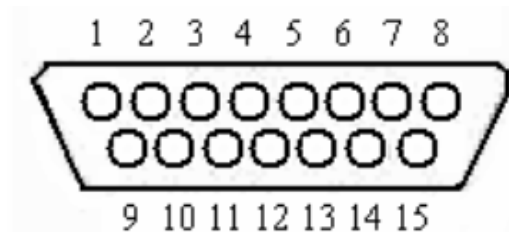
Jednotka R356 je celokovového provedení s možností připevnění pomocí bočních výstupů nejlépe na místo s větší chladicí kovovou plochou, protože při vyšším výkonovém zatížení dochází k vyššímu zahřátí díky vyšším ztrátám které uvnitř vznikají a tím stoupají nároky na chlazení jednotky.



Obrázek 5. Mechanické rozměry

2.7. D-sub konektor

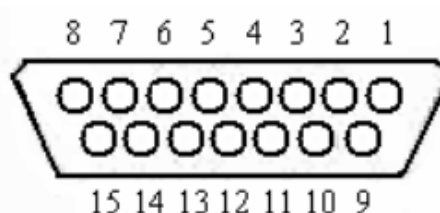
DB-15 poskytuje propojení mezi R356 a jednotkou pro řízení rychlosti zátky krystalizátoru. Na konektor z jednotky rychlosti jsou vyvedeny jeden pár datových vodičů RS-485 pro řízení jednotky R356 pomocí protokolu a jeden pár vodičů pro napájení jednotky R356. V kabelovém vedení jsou tytéž stejné vodiče. Pro vedení na krátkou vzdálenost není nutné mít kroucené datové páry vodičů na větší vzdálenost je potřeba kroucená dvojlinka pro odolnost proti rušení na přenosové cestě, napájecí vodiče nejsou vedeny v krouceném provedení.



Obrázek 6. - D-sub konektor na R356

Tabulka 2 - Přiřazení pinů D-sub konektoru R356

PIN	BARVA	FUNKCE
1	Žluto/Zelený	Napájení GND
2	bez vodiče	1A ON/OFF výstup
3	bez vodiče	Přímý vstup
4	bez vodiče	+5 VDC vstup pro optický snímač
5	bez vodiče	Vstup (2)
6	bez vodiče	Vnitřní napájení pro optický snímač
7	bez vodiče	Vstup (3)
8	Šedý	RS-485A
9	Černý	Napájení +12V až +40V
10	bez vodiče	1A ON/OFF výstup
11	bez vodiče	Vstup kroku (step)
12	bez vodiče	Signální GND
13	bez vodiče	Vstup (1)
14	bez vodiče	Vstup (4)
15	Hnědý	RS-485B



Obrázek 7. D-sub konektor na jednotce rychlosti

2.8. Konektor pro krokový motor

Konektor slouží pro připojení dvoufázového bipolárního krokového motoru
Obrázek 8. ukazuje typ konektoru a tabulka 3. následně rozmístění barev na jednotlivé fáze.



Obrázek 8. Konektor krokového motoru

Tabulka 3. Označení vodičů

Barva vodiče	Funkce vodiče
Červená	A+ fáze
Modrá	A - fáze
Zelená	B+ fáze
Černá	B - fáze

2.9. ASCII znaky

ASCII je anglická zkratka pro American Standard Code for Information Interchange (americký standardní kód pro výměnu informací). V podstatě jde o kódovou tabulku, která definuje znaky anglické abecedy, a jiné znaky používané v informatice. Jde o historicky nejúspěšnější znakovou sadu, z které vychází většina současných standardů pro kódování textu přinejmenším v euro-americké zóně.

Tabulka obsahuje tisknutelné znaky: písmena, číslice, jiné znaky (závorky, matematické znaky (+ - * / % atd.), interpunkční znaménka (, . : ; atd.), speciální znaky (@ \$ ~ atd.)), a řídicí (netisknutelné) kódy, které byly původně určeny pro řízení periferních zařízení (např. tiskárny nebo dálnopisu).

Kód ASCII je podle původní definice sedmibitový, obsahuje tedy 128 platných znaků. Pro potřeby dalších jazyků a pro rozšíření znakové sady se používají osmibitová rozšíření ASCII kódu, která obsahují dalších 128 kódů. Takto rozšířený kód je přesto příliš malý na to, aby pojal třeba jen evropské národní abecedy. Pro potřeby jednotlivých jazyků byly vytvořeny různé kódové tabulky, význam kódů nad 127 není tedy jednoznačný. Systém kódových tabulek pro národní abecedy vytvořila organizace ISO.

Tabulka 4. ASCII znaky

0	NUL	16	DLE	32	SPC	48	0	64	@	80	P	96	`	112	p
1	SOH	17	DC1	33	!	49	1	65	A	81	Q	97	a	113	q
2	STX	18	DC2	34	"	50	2	66	B	82	R	98	b	114	r
3	ETX	19	DC3	35	#	51	3	67	C	83	S	99	c	115	s
4	EOT	20	DC4	36	\$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
5	ENQ	21	NAK	37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
6	ACK	22	SYN	38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
7	BEL	23	ETB	39	'	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
8	BS	24	CAN	40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
9	HT	25	EM	41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
10	LF	26	SUB	42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
11	VT	27	ESC	43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
12	FF	28	FS	44	,	60	<	76	L	92	\	108	l	124	|
13	CR	29	GS	45	-	61	=	77	M	93	]	109	m	125	}
14	SO	30	RS	46	.	62	>	78	N	94	^	110	n	126	~
15	SI	31	US	47	/	63	?	79	O	95	_	111	o	127	DEL

2.10. DT Protokol

DT Protokol je hlavní komunikační protokol pro řízení jednotky R356, tabulka 5. vyobrazuje jednotlivé části protokolu, který jsou posílány z jednotky rychlosti pomocí sériové linky RS-485 od startovního znaku až po koncový znak řetězce do jednotky ovládající krokový motor. Všechny znaky jsou posílány v 8 bitovém provedení.

Tabulka 5. DT Protokol

Startovní znak	Adresa jednotky	Hlavní příkaz	Znak spuštění	Konec řetězce
/	1 - 9	Hlavní řetězec	R	<CR>

Startovní znak - Je to první znak v protokolu, který je poslán vždy začíná s lomítkem.

Adresa jednotky - Slouží pro odlišení více jednotek R356 připojených na jedné komunikační lince RS-485 tak aby nedocházelo k vzájemnému ovlivnění. Adresa se nastavuje pomocí kódového přepínače umístěného na jednotce R356 obrázek 9.



Obrázek 9. Kódový přepínač adresy

Pro adresy jednotek 1 až 9 je použita sada ASCII kódu 1 až 9 ale pro adresy A až F a 0 je nutno použít sadu podle tabulky 6. V tabulce je dále uvedena i hodnota ASCII kódu v desítkové soustavě.

Tabulka 6. Vyšší hodnota adresy

Adresa	Znak	ASCII hodnota
A	:	58
B	;	59
C	<	60
D	=	61
E	>	62
F	?	63
0	@	64

Dále je možno adresovat společně více jednotek jedním DT protokolem, ke kterým jsou napojeny jednotlivé motory, způsob adresace je v tabulce 7. V tabulce je dále uvedena i hodnota ASCII kódu v desítkové soustavě.

Tabulka 7. Společné adresování

Adresa	Znak	ASCII hodnota
Motor 1 a 2	A	65
Motor 3 a 4	C	67
Motor 5 a 6	E	69
Motor 7 a 8	G	71
Motor 9 a 10	I	73
Motor 11 a 12	K	75
Motor 13 a 14	M	77
Motor 15 a 16	O	79
Motor 1, 2, 3 a 4	Q	81
Motor 5, 6, 7 a 8	U	85
Motor 9, 10, 11 a 12	Y	89
Motor 13, 14, 15 a 16	]	91

2.10.11. Hlavní příkazy

Tabulka 8. Nastavení polohy - příkazy

Nastavení polohy			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
Z	0 - 10000	/1Z10000R	Nastavení 0 pozice po přerušení optočlenu, rychlost je stanovena hodnotou příkazu 'V', pokud nedojde k přerušení po 10000 krocích motor se zastaví.
z	0 - max*	/1z65536R	Nastaví aktuální pozici bez pohybu motoru.
A	0 - max*	/1A10000R	Pohne s motorem do absolutní polohy.
f	0 nebo 1	/1f1R	Nastaví úroveň domovského senzoru, výchozí hodnota je 0.
P	0 - max*	/1P10000R	Pohyb motoru v kladném směru podle počtu kroků. Pro P0 způsobí nekonečný pohyb motoru na základě nastavené rychlosti příkazu 'V'.
D	0 - max*	/1D10000R	Pohyb motoru v záporném směru podle počtu kroků. Pro D0 způsobí nekonečný pohyb motoru na základě nastavené rychlosti příkazu 'V'. Příkaz nebude pracovat pokud pozice motoru bude 0, pro změnu pozice lze použít příkaz 'z' pro nastavení jiné polohy nebo pomocí příkazu 'F' obrátit směr.
B	0 - max*	/1B1000R	Nastavení vzdálenosti pro pulzní jog režim.
T		/1TR	Ukončí aktuální příkaz.
F	0, 1	/1F1R	Obrátí směr kladný na záporný. Příkazy P a D se prohodí, výchozí hodnota je 0.
*	2^{31}		Maximální hodnota je $2^{31} = 2147483648$

Tabulka 9. Rychlost a zrychlení - příkazy

Rychlost a zrychlení			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
V	$0 - 2^{31}$	/1V2000R	V režimu polohy nastaví nejvyšší rychlost motoru (mikrokroků/sekundu), rychlosti lze měnit za chodu (otáčení).
L	0 - 65000	/1L5000R	Nastavení velikosti zrychlení.

Pro výpočet okamžitého zrychlení provedeme podle vztahu (2.10.11a)

$$a = L * 6103.5 \quad (2.10.11a)$$

Pro výpočet doby zrychlení nebo dovršení dané rychlosti provedeme podle vztahu (2.10.11b)

$$T = \frac{V}{a} \quad (2.10.11b)$$

Tabulka 10. Nastavení pracovních proudů - příkazy

Nastavení proudu			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
m	0 - 100	/1m50R	Nastavuje provozní proud od 0% do 100% z maximálního proudu 3A. Výchozí nastavení je 30%.
h	0 - 50	/1h20R	Nastavení držícího proudu od 0% do 50% z maximálního proudu 3A. Výchozí nastavení je 10%.

Tabulka 11. Cyklování, větvení a korekce polohy - příkazy

Cyklování a větvení			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
g		/1gP10G5R	Začátek opakovací smyčky.
G	0 - 30000	/1gP10G0R	Konec opakovací smyčky, smyčky mohou být vnořené až 4 úrovně. Hodnota 0 způsobí, že je smyčka nekonečná.
M	0 - 30000	/1M2000R	Zpoždění v milisekundách (ms)
H	01 11 02 12 03 13 04 14	/1gH02P1000 0G20R	Zastaví aktuální příkaz a čeká dokud nedojde k dané podmínce: Příklad bude čekat na přepnutí spínače na vstupu 2 (pin 5) do nuly. Pouze vstup 2 může zastavit příkaz P0 a D0 Zastavená operace se může být obnovena příkazem /1R 01 čeká na úroveň LOG 0 na vstupu 1 (pin 13) 11 čeká na úroveň LOG 1 na vstupu 1 (pin 13) 02 čeká na úroveň LOG 0 na vstupu 2 (pin 5) 12 čeká na úroveň LOG 1 na vstupu 2 (pin 5) 03 čeká na úroveň LOG 0 na vstupu 3 (pin 7) 13 čeká na úroveň LOG 1 na vstupu 3 (pin 7) 04 čeká na úroveň LOG 0 na vstupu 4 (pin 14) 14 čeká na úroveň LOG 1 na vstupu 4 (pin 14)
S	01 11 02 12 03 13 04 14	/1gS02A1000 0A0G20R	Přeskočí příkaz na základě aktuální podmínky: Vhodné pro provádění různých programů. 01 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 0 na vstupu 1 (pin 13) 11 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 1 na vstupu 1 (pin 13) 02 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 0 na vstupu 2 (pin 5) 12 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 1 na vstupu 2 (pin 5) 03 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 0 na vstupu 3 (pin 7) 13 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 1 na vstupu 3 (pin 7) 04 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 0 na vstupu 4 (pin 14) 14 přeskočí následující instrukci na úroveň LOG 1 na vstupu 4 (pin 14)

n	0 - 4096	/1n2R	Nastavuje módy - interpretované jako kombinace binárních bitů: Bit 0: /1n2R - Povolí pulzní JOG mód, vzdálenost (počet kroků) je dána příkazem B a rychlost je dána příkazem V. Vstupy 1 a 2 slouží pro spuštění pravého nebo levého směru otáčení. Bit 1: /1n2R - Povolí limit, Optický vstup 3 (pin 7) se stává jako koncový spínač na LOG 0 pak zastavení otáčení motoru. Bit 2: /1n4R - Povolí pokračování v JOG módu zatímco je spínač sepnutý rychlost je dána příkazem V. Bit 3: /1n8R - Povolí režim korekce polohy. Bit 4: /1n16R - Povolení přetížení režimu Report. Bit 5: /1n32R - Povolení krok a směr módu. Bit 6: /1n64R - Povolí podřízení motoru na čidlo kroku.
Korekce polohy pro kódovací zařízení			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
N	1 - 2	/1N1R	Speciální režimy: 1 = Kódovací zařízení bez označení (výchozí). Motor bude mít domovskou pozici na optočidlu 1 (pin 7) 2 = Kódovací zařízení s označením.
aC	1 - 65000	/1aC100R	V režimu korekce polohy lze nastavit vzdálenost pohybu mezi motorem a korigující zpětné vazby.
aE	$1000 - 10^6$	/1aE12500R	Nastavuje poměr kódovacího zařízení, tím se nastaví poměr mezi kódovacím zařízením pulzů na otáčku a krokovým motorem mikrokroků na otáčku.
au	$1 - 10^6$	/1au10000R	Nastavení přetížení v časovém limitu, kolikrát se zopakuje v případě pohybu.
r		/1rR	Obnoví kódovacího zařízení po překročení časového limitu kvůli vypršení časového limitu na snímači.

Tabulka 12. Uložení a vyvolání programu z paměti - příkazy

Uložení a vyvolání programu z paměti			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
s	0 - 15	/1s1A10000A0R	Ukládání programu do paměti s až 15 úložnými místy. Program 0 se vykoná hned při zapnutí. Délka programu může mít maximálně 14 příkazů a 256 znaků.
e	0 - 15	/1e1R	Vykoná uložený program 0 - 15.

Tabulka 13. Programové provedení - příkazy

Programové provedení			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
R		/1R	Spustí příkazový řetězec, který je v současné době v provedení ve vyrovnávací paměti.
X			Opakovat aktuální příkazový řetězec.

Tabulka 14. Mikrokování - příkazy

Mikrokování			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
j	2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256	/1j256R	Nastavuje rozlišení v mikrokrocích na jeden krok.
o	1400 - 1650		Umožňuje uživateli upravit nerovnost mikrokrokových velikostí a nastavení hlučnosti. Provádí se při spuštění motoru a úprava se provádí jen v malých krocích v rozmezí 1400 až 1650.

Tabulka 15. Zapnutí a vypnutí výstupu - příkazy

Zapnutí a vypnutí výstupu			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
J	0 - 3		Zapnutí nebo vypnutí dvou výstupu (jsou obousměrné I/O). hodnota je vyobrazena jako dva bity kde 1 - je zapnuto a 0 - je vypnuto. 10 = výstup 2 zapnutý a výstup 1 vypnutý.

Tabulka 16. Dotazové příkazy

Dotazové příkazy			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
?	0	/1?0	Vrací aktuální pozici motoru.
?	1	/1?1	Vrací aktuální startovní rychlost
?	2	/1?2	Vrací aktuální otáčecí rychlost pro režim polohy.
?	3	/1?3	Vrací aktuální zastavovací rychlost.
?	4	/1?4	Vrací stav všech čtyř vstupů, 0 - 15 představuje 4 bitovou binární kombinaci. Bit 0 = vstup 1 (pin 13) Bit 1 = vstup 2 (pin 5) Bit 2 = vstup 3 (pin 7) Bit 3 = vstup 4 (pin14)
?	5	/1?5	Vrací aktuální otáčecí rychlost.
?	6	/1?6	Vrací aktuální velikost kroku.
?	7	/1?7	Vrací aktuální hodnotu 'o' (úprava nerovnosti).
?	8	/1?8	Vrací pozici z kódovacího zařízení (lze vynulovat 'Z' příkazem).
?	9	/1?9	Vymaže všechny příkazy, program uložený v EPROM s výjimkou jakýkoliv nastavení - proud, rychlost, zrychlení, mikrokování a jakékoliv jiné nastavení.

\$		/1\$	Vrací aktuální vykonaný příkaz. Chceme-li jaké data jsou uloženy v určité části paměti, načteme program příkazem /1e2R /1\$.
&		/1&	Vrací aktuální verzi firmwaru a datum.
Q		/1Q	Dotazování aktuálního stavu jednotky R356. 0 = žádná chyba 1 = chyba inicializace 2 = chybný příkaz 3 = operand mimo rozsah
T		/1T	Ukončí aktuální příkazy.
p		/1p66	Odešle se číslo 66 ne jen příkaz 'p' použití je pro potvrzení co se aktuálně vykonává.

Tabulka 17. BAUD nastavení - příkaz

BAUD nastavení			
Příkaz	Operand	Příklad	Popis příkazu
b	9600 19200 38400	/1b19200R	Nastavení přenosové rychlosti pro sériovou komunikaci, výchozí přenosová rychlost je 9600 bps.

Znak spuštění

Znak "R" (run) ukončuje celý DT protokol.

Konec řetězce

Konec řetězce <CR> (carriage return - návrat vozíku) je definován speciálně jako netisknutelný řídicí znak, který posune kurzor na začátek řádku jako klávesový Enter. ASCII kód pro tento znak je v desítkové soustavě číslo 13 a 10 společně jsou posílány jako ukončení DT protokolu a následně je protokol zpracováván řídicí jednotkou a vykonán.

2.12. Zpětné hlášení

Zpětné hlášení je vysíláno pokaždé za každým komunikačním průběhem od jednotky z kterou jsme komunikovali, říká nám v jakém stavu jsou data přijaty. V tabulce 18. jsou zobrazeny jednotlivé odpovědi.

Tabulka 18. Zpětné hlášení

Řetězec znaků	Popis řetězce
/0@♥□	Přijetí příkazu je správné.
/0b♥□	Značí špatný příkaz.
/0C♥□	Znamená, že příkaz je mimo rozsah.
/0'♥□	Znamená, že příkaz je ukončen. Odpověď na příkaz /1TR
/0'a♥□	Značí přetečení hodnoty v příkazu.

Řetězec znaků zpětného hlášení se skládá z ASCII kódu, zde jsou zobrazeny jednotlivé znaky:

Tabulka 19. ASCII hodnoty znaků

Pozice v řetězci	Symbol	Decimální číslo	Hexadecimální číslo	Binární číslo
1	Mezera	255	0x0FF	B'11111111'
2	/	47	0x2F	B'00101111'
3	0	48	0x30	B'00110000'
4	@	64	0x40	B'01000000'
4	b	98	0x62	B'01100010'
4	C	67	0x43	B'01000011'
4	'	96	0x60	B'01100000'
4	`	39	0x27	B'00100111'
4	a	97	0x61	B'01100001'
5	♥	3	0x03	B'00000011'
6	♪	13	0x0D	B'00001101'
7	☐	10	0x0A	B'00001010'

3. Způsob ovládání rychlosti pohonu zátky krystalizátoru plazmové pece

Požadavkem je ovládání plynulého pohybu zátky krystalizátoru plazmové pece k jednotce R356 bez použití PC ke konkrétnímu krokovému motoru. Je nutné vytvořit pracující zařízení které bude schopné na základě pokynů uživatele nastavovat požadovanou rychlost.

3.1. Krokový motor

Krokový motor typu 43F4A-05 slouží pro lineární plynulý pohyb ve vertikální poloze pro zátku krystalizátoru plazmové pece.



Obrázek 10. Krokový motor s lineárním aktuátorem

Krokový motor má místo otočné hřídele lineární aktuátor je to pohybový šroub spojený s vnitřkem krokového motoru na matici která je přes ložisko spojená s motorem je tvořená z termoplastu pro delší životnost a tišší chod. Má funkci otáčecí tím, že se šroubuje na pohybový šroub a vytváří lineární pohyb zasouváním a vysouváním šroubu do krokového motoru.

Tabulka 20. Typ krokového motoru

Typ motoru	43F4(X)-05
Napájení	12 VDC
Odebíraný proud	290 mA
Odpor fáze	41,5 Ohm
Indukce fáze	54,0 mH
Výkonová spotřeba	7 W

Tabulka 21. Stoupání závitového šroubu

Následující kód X	Lineární pohyb
-	mm/krok
N	0,003
K	0,006
J	0,0121
Q	0,0243
R	0,0487
P	0,0039
A	0,0079
B	0,0158
C	0,0317

Stoupání podle tabulky 21. je pro tento krokový motor 0,0079 mm/krok a důležité pro výpočet rozmezí rychlosti stoupání pro jednotku řízení rychlosti.

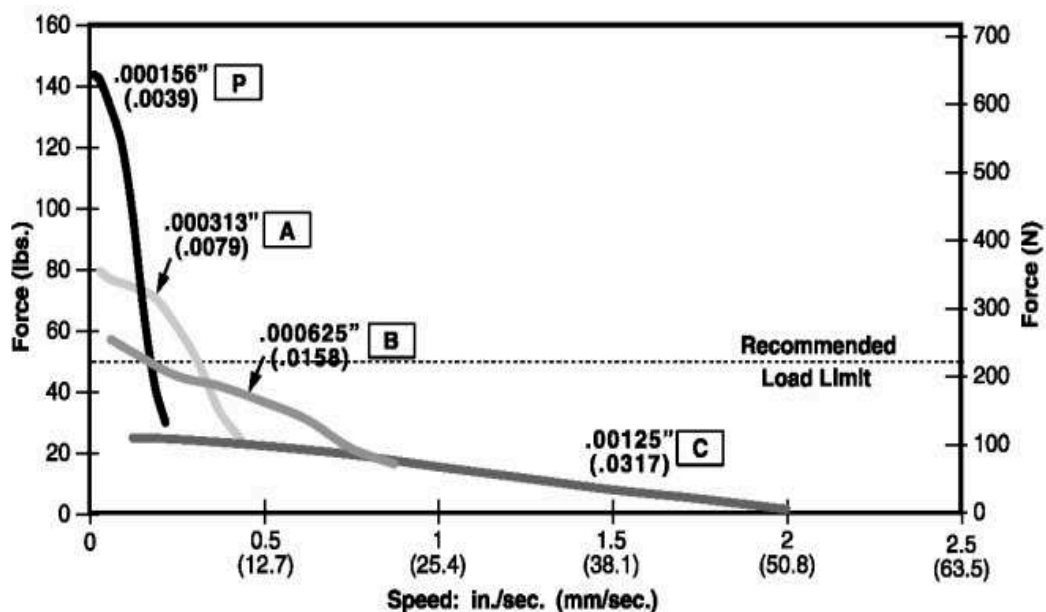
$$v = A * krok * T$$

$$v = 0,0079 * 255 * 60 = 120,87 \quad (3.1a)$$

Výsledkem je rychlost pohybu zátky 120 mm za minutu. Hodnota 255 je maximální nastavená rychlost kroků za sekundu v jednotce řízení rychlosti. V tabulce 22. jsou minimální a maximální rychlosti pohybu zátky krystalizátoru plazmové pece.

Tabulka 22. Rychlost zátky

1 krok/s	255 kroků/s	Čas
0,079 mm	2,0145 mm	Za sekundu
0,474 mm	120,87 mm	Za minutu



Obrázek 11. Momentová charakteristika krokového motoru

3.2. Krystalizátor plazmové pece

Krystalizátor plazmové pece slouží pro přetavování ingotu různých tvarů na tvar definovaný.

Hlavní využití je zpracování vysoce reaktivních a vysoce čistých slitin s potřebou ochrany taveniny před oxidací a dosažení vysoké koncentrace tepelné energie.

V horní části plazmové pece je umístěn plazmový hořák spolu s podavačem, v dolní části pece je zařízení tzv. zátka (anoda) je to vertikálně vodou chlazený měděný krystalizátor obrázek 12.

Zátka je uchycená na podstavec s kterou je mechanicky spojená závitová tyč, je vedena spolu s vodicími tyčemi které drží zátku ve správné poloze a zároveň i podpírají obrázek 13. Vodicí tyče jsou v nižší poloze upevněny spolu s krokovým motorem do kterého je uchycená závitová tyč obrázek 15. pro lineární plynulý pohyb zátky nahoru nebo dolů.



Obrázek 12. Plazmový hořák s podavačem



Obrázek 13. Uchycení zátky



Obrázek 14. závitový šroub spolu s vodícími tyčemi

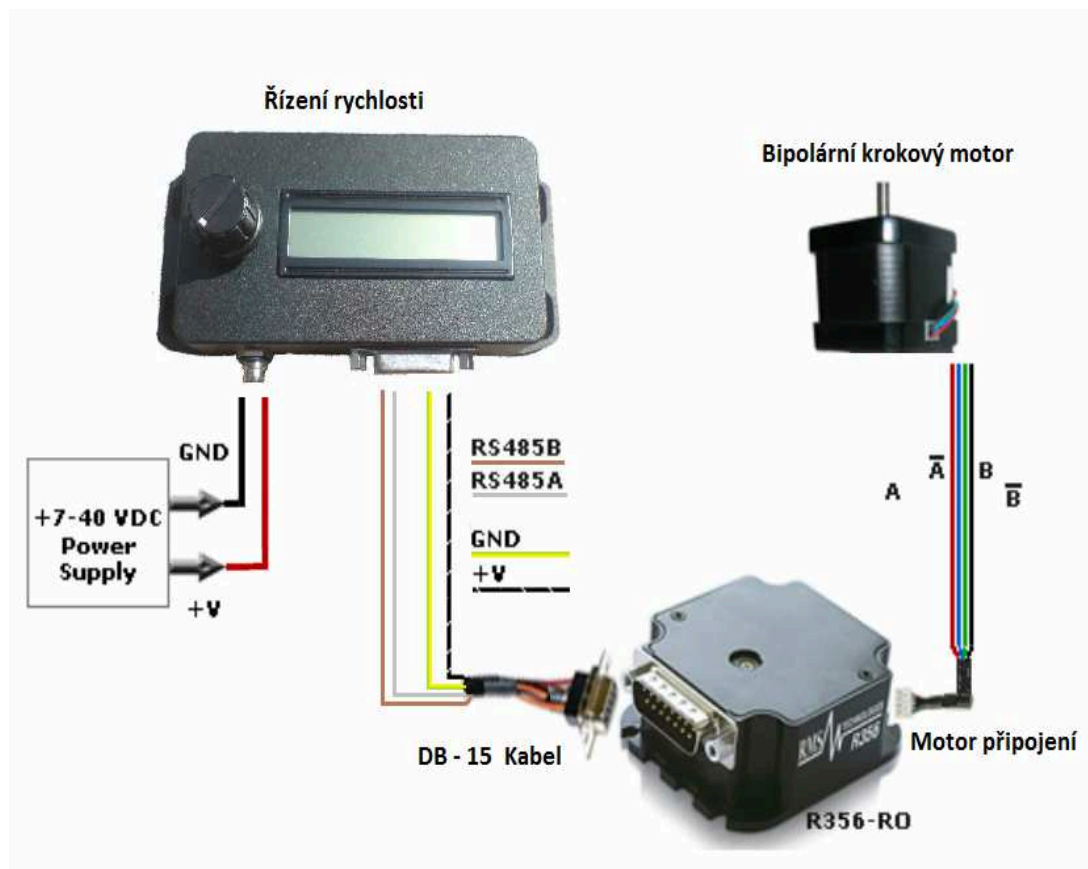


Obrázek 15. Uchycení krokového motoru

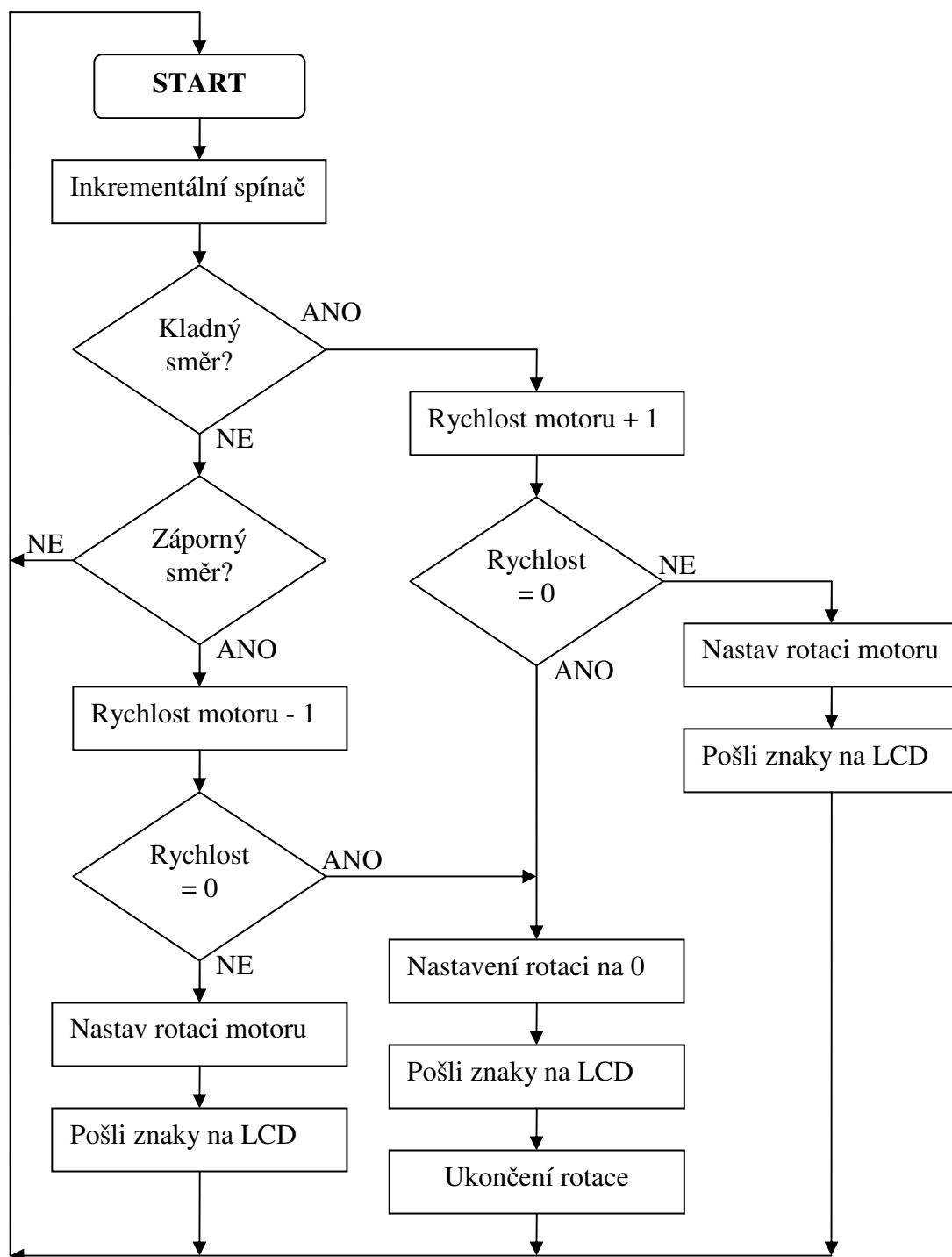
4. Navrhnete způsob řízení rychlosti nezávisle na řídicím PC

4.1. Návrh způsobu řízení

Návrh způsobu řízení je na obrázku 17. Vývojový diagram zobrazuje zjednodušenou činnost hlavního řídicího programu, který periodicky testuje nastavení rychlosti pomocí inkrementálního spínače a následně zjišťuje jakým směrem je nastavená rychlost pohybu od inkrementálního spínače. Ve skutečnosti je testování této smyčky prováděno několikrát za ms tím je zamezeno nestihnutí zjištění požadované rychlosti z inkrementálního spínače. Po nastavení požadované rychlosti a po testu směru se nastaví rychlost pouze o velikosti jedné hodnoty, vytvoří se příkazový řetězec pro R356 a následně je odeslán, po odeslání se nastaví aktuální rychlost na zobrazovací panel - LCD a proces začíná od znova. Celkové zapojení je ukázané na obrázku 16.



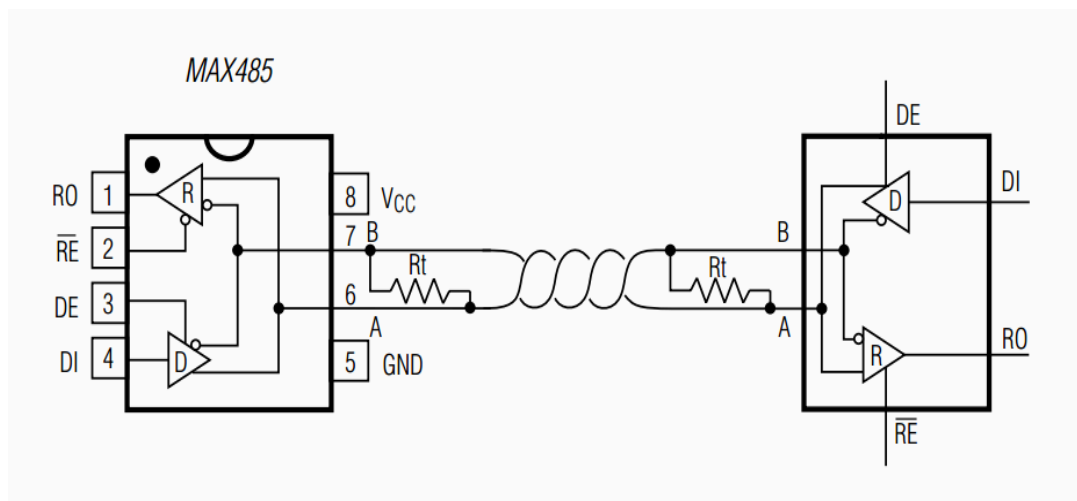
Obrázek 16. Celkové zapojení



Obrázek 17. Hlavní vývojový diagram

4.2. Sériový přenos RS485

Sériový přenos je zapotřebí pro komunikaci mezi jednotkou rychlosti a zařízením R356 pro řízení krokových motorů. Komunikace je sériová v polo duplexním asynchronním režimu. Je využit obvod MAX 485 jako vstupní obvod pro mikroprocesor.



Obrázek 18. MAX485

RS 485 se propojuje pomocí kroucené dvojlinky v této verzi je zařízení připojeno na jednu kroucenou dvojlinku. Obvod MAX-485 obsahuje třístavové budiče pro komunikaci na vedení v obou směrech, které se přepínají pomocí vstupních pinů:

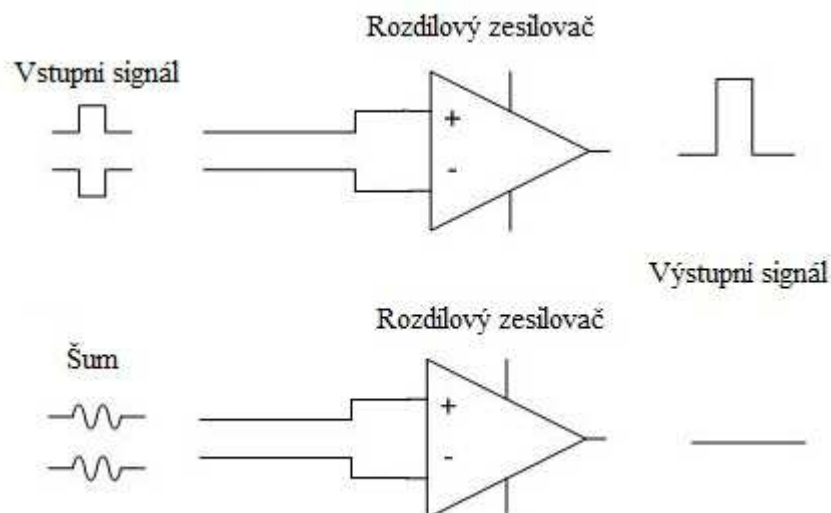
RE – aktivování výstupu přijímače – aktivní je pokud je na vstup přivedená LOG 0 – obvod přijímá data z vnějšku a posílá je na pin RO, při LOG 1 na pinu RE je výstup RO ve třetím stavu (vysoká impedance).

DE – aktivování výstupu vysílače – aktivní je v LOG 1 - data jsou z pinu DI vnitřně přeposílány na vysílací piny A a B a součástka má funkci řízení linky. Při LOG 0 jsou vysílací piny A a B ve třetím stavu (vysoká impedance) a úkolem součástky je přijímat data při LOG 0 na pinu RE.

Je tedy důležité, aby nezačalo vysílání obou zařízení současně následkem je kolize a data jsou ztracena. Příjem a vysílání přepíná mikroprocesor.

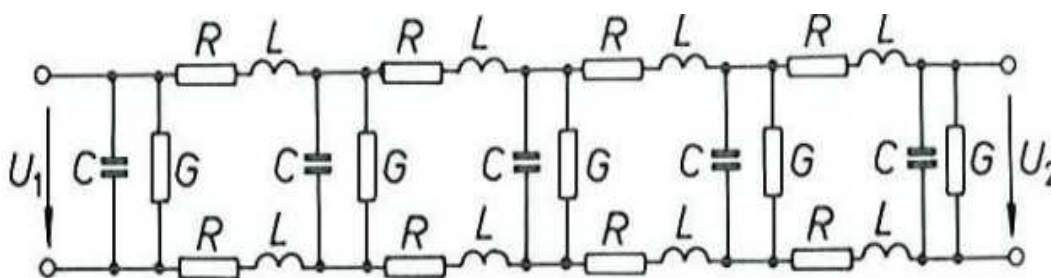
RS-485 se také používá pro více bodovou komunikaci s více zařízeními, které jsou připojeny na jedno signálové vedení, systémů používá se Master/Slave architekturu, kde má každá slave jednotka svojí unikátní adresu a odpovídá pouze na její určené pakety. Tyto pakety generuje Master (mikroprocesor).

Vedení linky je složeno ze dvou vodičů kroucených kolem sebe (twistedpair) díky tomu se indukované rušení a šum naindukují na oba dva vodiče stejně to znamená, že napěťová difference (rozdíl mezi vodiči A a B) je téměř nulová a vzhledem k diferenciální funkci vstupního zesilovače RS 485 přijímače je toto rušení eliminováno v obrázek 19.



Obrázek 19. Potlačení rušivých složek

Přenos dat ve vodičích je řešen diferenciálním napětovým přenosem. Pokud je signál neaktivní, je napětí na pinu A záporné a na pinu B kladné. V opačném případě je signál aktivní a pin A je kladný a pin B je záporný. Tento stav platí také pro přeslechy mezi sousedními vodiči, a pro jakékoli jiné zdroje šumů, dokud nejsou překročeny napětové hranice vstupních obvodů přijímacího IO. Diferenciální vstup také eliminuje rozdíl zemních potenciálů vysílače a přijímače. Tato vlastnost je velmi důležitá pro komunikaci mezi různorodými systémy, kde by jinak vznikaly veliké problémy pro různé zdroje napájecího napětí. Použití krouceného kabelu a impedanční přizpůsobení linky (pro eliminování odrazů) rezistorem R_t dovoluje rychlost přenosu dat u obvodu MAX485 až 2.5Mbit/s a délky kabelů až 1 Km je odvislá od kapacity a svodového proudu mezi vodiči a sériovým odporem s indukčností vodiče v obrázku 20.

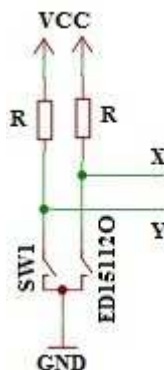


Obrázek 20. Skutečné vedení

RS 485 přijímač reaguje na rozdíl napětí mezi A a B. Je-li U_{ab} větší než 200mV, pak je na výstupu přijímače definovaná logická úroveň. Pro U_{ab} menší 200mV je logická úroveň opačná. Napětová úroveň vysílače je 0 a 5V.

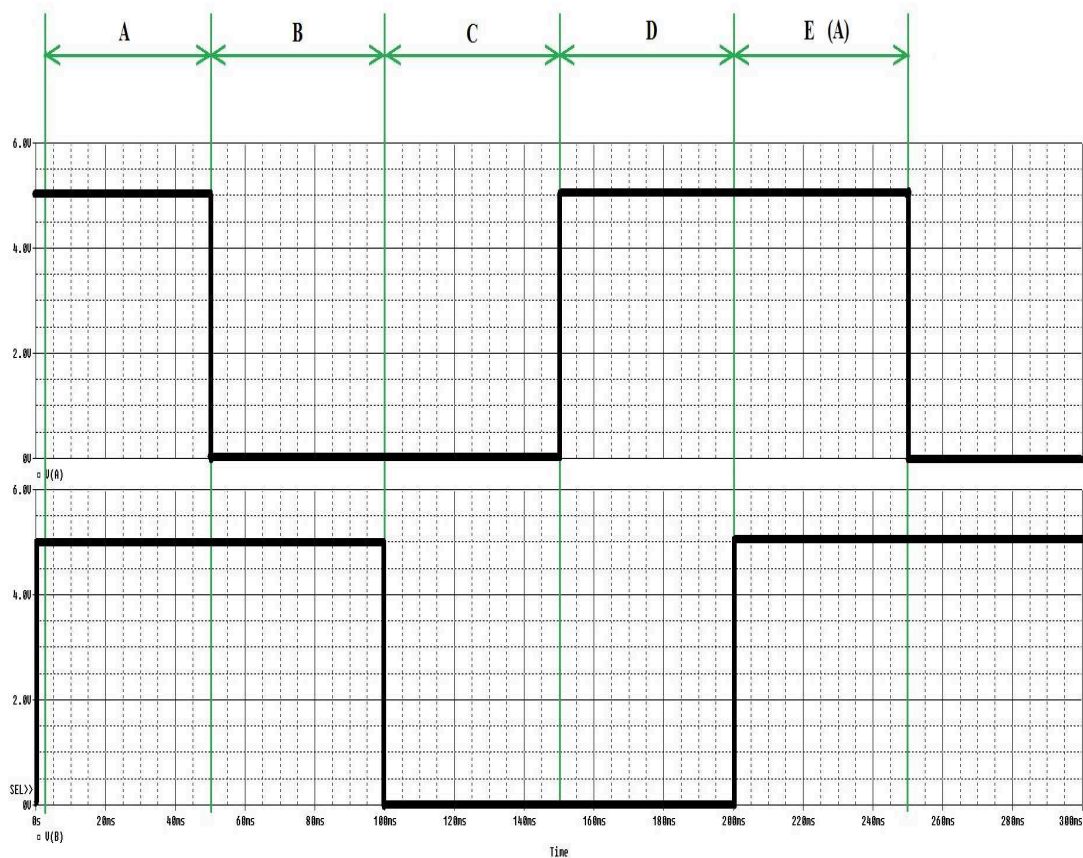
4.3. Inkrementální spínač

Je to rotační spínač, jenž poskytuje relativní informaci o změně polohy. Výstupem jsou dva fázově posunuté pulzní signály vznikající při otáčení spínače a díky nim lze zjistit aktuální směr pohybu. Inkrementální spínač je charakterizován počtem pulsu na otáčku (24)

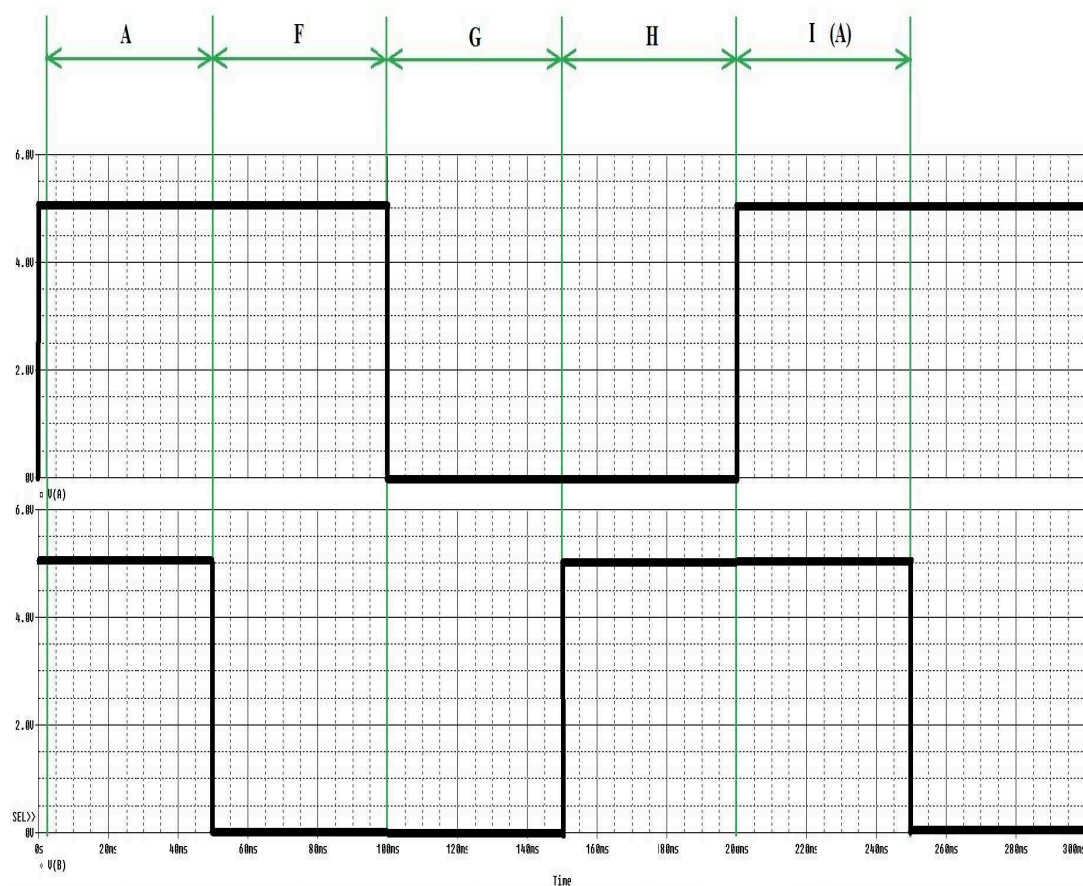


Obrázek 21. Zapojení inkrementálního spínače

Vnitřní propojení tří vývodové součástky inkrementálního spínače je na obrázku 21. který je připojený společnou svorkou na GND a přes pull-up rezistory na VCC pro schopnost pravoúhlého průběhu na pinech X a Y.



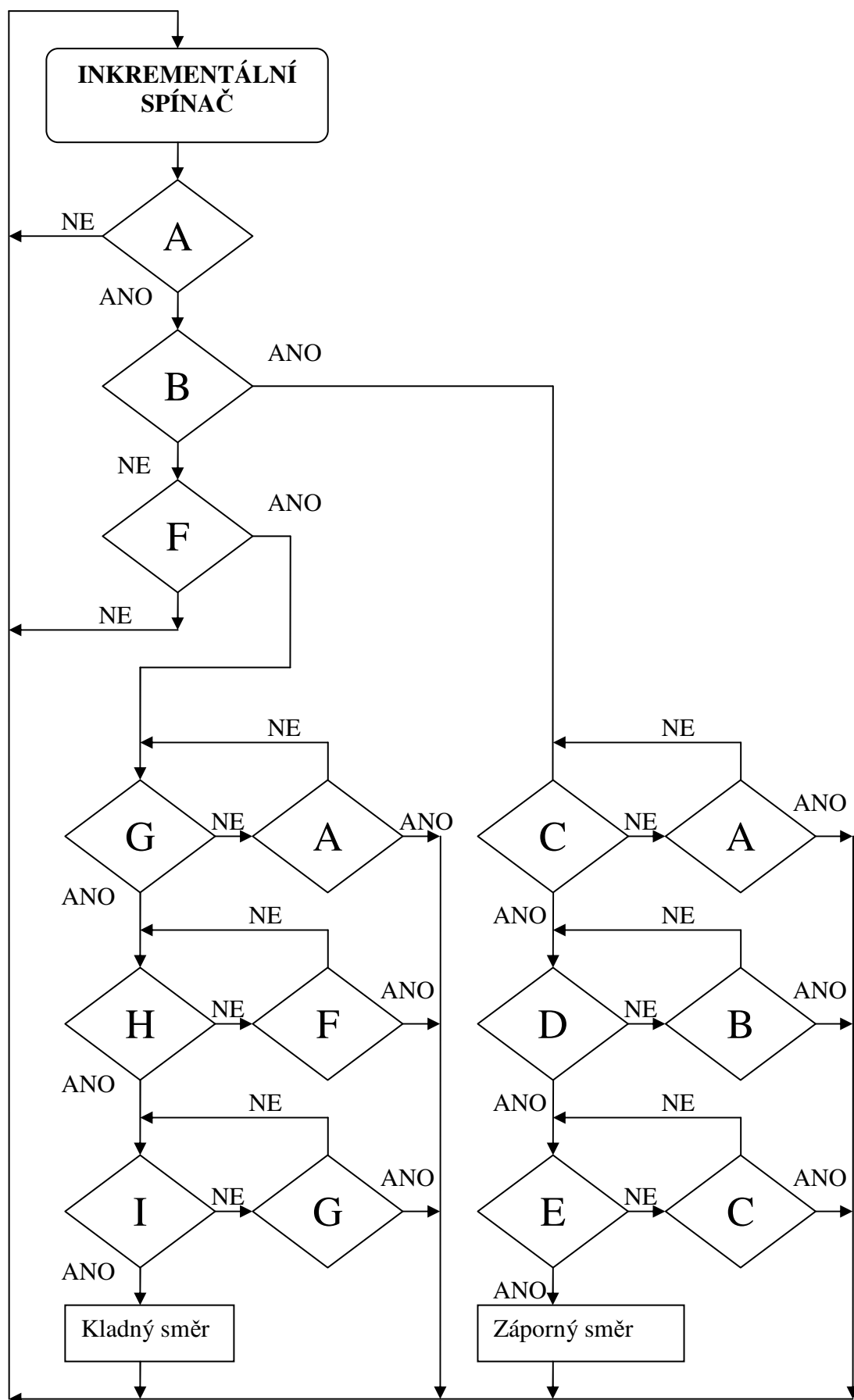
Obrázek 22. Průběh impulsů v záporném směru



Obrázek 23. Průběh impulsů v kladném směru

Inkrementální spínač při svém otáčení generuje na výstupních pinech pravoúhlé průběhy signálů zobrazené na obrázku 22. pro záporný směr a v obrázku 23. pro kladný směr otáčení. Tyto pravoúhlé průběhy jsou zpracovávány mikroprocesorem podle vývojového diagramu v obrázku 24. jsou jednotlivé průběhy A, B, C, D, E a A, F, G, H, I jsou kombinací na pinech X a Y inkrementálního spínače. Pomocí těchto průběhů lze zjistit směr otáčení a při opakovaném otáčení i počet celkových průběhů.

Programově se zaznamenává každý průběh, díky tomu se zamezí chybovým stavům jako přeskočení některých průběhů, nedodržení posloupnosti průběhů a změně směru otáčení při nekompletním vykonání průběhů v daném směru.



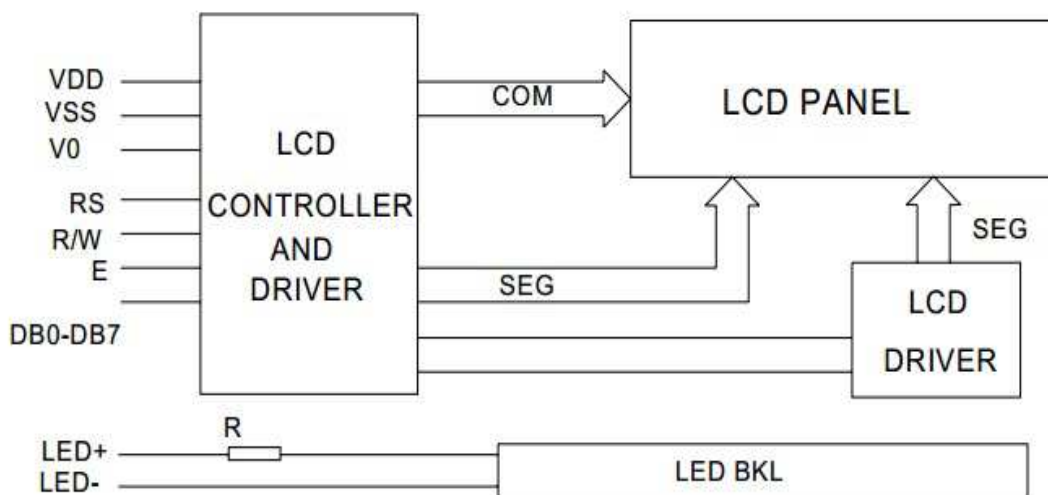
Obrázek 24. Vývojový diagram inkrementálního spínače

4.4. LCD display

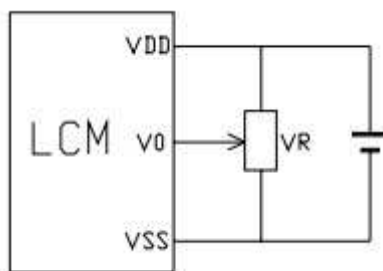
LCD display je použit pro zobrazení stavu rychlosti rotace krokového motoru, směru rotace a zastavení. Pracovní teploty jsou 0 °C až 50 °C.

Vlastnosti LCD

- 5x8 bodů na znak
- Vestavěný řídicí obvod S6A0069
- Napájení 5V
- Pracovní cyklus 1/16
- LED podsvětlení (použitý display je bez podsvícení, možno vyměnit za jiný typ)
- Možnost nastavení kontrastu

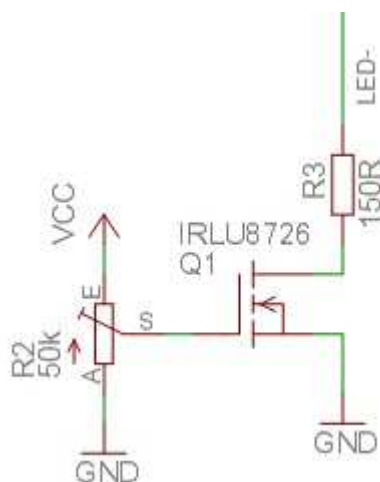


Obrázek 25. Blokový diagram LCD



Obrázek 26. Zapojení pro nastavení kontrastu

Na pin kontrastu V_0 je připojený proměnný odpor (trimr) o hodnotě $50\text{ k}\Omega$ boční vývody jsou vyvedeny na GND a napájení 5V. Dále je možnost měnit jas podsvětlení pomocí obvodu na obrázku 27. Odpor R_3 limituje maximální proud při plném otevření tranzistoru.



Obrázek 27. Nastavení jasu

Tabulka 23. Popis pinu LCD

Číslo pinu	Označení	Externí připojení	Funkce
1	Vss	Napájení	GND
2	Vdd		Napájení LCD +5V
3	Vo		Nastavení kontrastu
4	RS	MCU	Výběrový pin
5	R/W	MCU	Čtení / zápis
6	E	MCU	Umožní zápis / čtení dat
7	DB0	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
8	DB1	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
9	DB2	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
10	DB3	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
11	DB4	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
12	DB5	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
13	DB6	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
14	DB7	MCU	Použití pro přenos dat mezi LCD a MCU
15	LED+	Napájení +5V	Napájení podsvětlení
16	LED-	GND	GND

4.4.1. Nastavení funkce

Tabulka 24. Nastavení funkce

	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Popis	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-
Nastavené bity	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

DL: Délka dat nastavovací bit

DL = LOG 1 - 8 bitová sběrnice DB7 - DB0

DL = LOG 0 - 4 bitová sběrnice DB7 - DB4

N: Nastavení řádku

N = LOG 1 - dvouřádkový display

N = LOG 0 - jednořádkový display

F: Velikost znaku na řádku

F = LOG 1 - 5x11 bodů na znak

F = LOG 0 - 5x8 bodů na znak

4.4.2. LCD ON / OFF Nastavení

Tabulka 25. LCD ON / OFF

	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Popis	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
Nastavené bity	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

D: Zapnutí / vypnutí display

D = LOG 1 - zapnutý display

D = LOG 0 - vypnutý display, data jsou uložena v DDRAM

C: Kurzor zapnutí / vypnutí

C = LOG 1 - zapnutý kurzor

C = LOG 0 - kurzor není zobrazen, je zachována jeho poloha

B: Blikání kurzoru zapnutí / vypnutí

B = LOG 1 - kurzor střídavě bliká

B = LOG 0 - blikání kurzoru je vypnuté

4.4.3 Vymazání displeje

Vymaže všechna zobrazená data a vynuluje adresní čítač znaku na display

Tabulka 26. Vymaže display

	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Nastavené bity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

LCD display má jednotlivé segmenty adresované podle tabulky 27. tyto segmenty slouží pro zobrazení charakterových znaků. Adresování je řízeno vnitřním čítačem, který usnadňuje práci na zapisování znaků, na základě adresování prvního znaku na prvním řádku a následné posílání znaku se zapíše na tuto pozici a vnitřní čítač inkrementuje adresu na následující pozice a proces se opakuje až do hodnoty 16, pak je nutné nastavit druhý řádek adresovému čítači hodnotou 0x40 a proces funkce je stejný jako na prvním řádku, tímto způsobem se zobrazí všechny požadované znaky na LCD. Časová prodleva mezi posíláním jednotlivých znaku na segmenty je dána výrobcem a to 43us.

Tabulka 27. Adresa segmentů

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM Adresa	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DDRAM Adresa	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

Tabulka 28. STOP zobrazuje zastavení otáčení krokového motoru ale i úplné odpojení od držícího momentu. Hodnota kroku za sekundu je nula.

Tabulka 28. Funkce STOP

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM Adresa					0	0	0			S	T	O	P			
DDRAM Adresa	S	T	E	P	/	S	E	C	O	N	D					

Tabulka 29. Otočení doleva krokového motoru zobrazenou rychlostí jeden krok za sekundu při výchozím nastavení momentového proudu. Táto funkce má za úkol zátka krystalizátoru tahat směrem dolů pokud je zátka nad krokovým motorem.

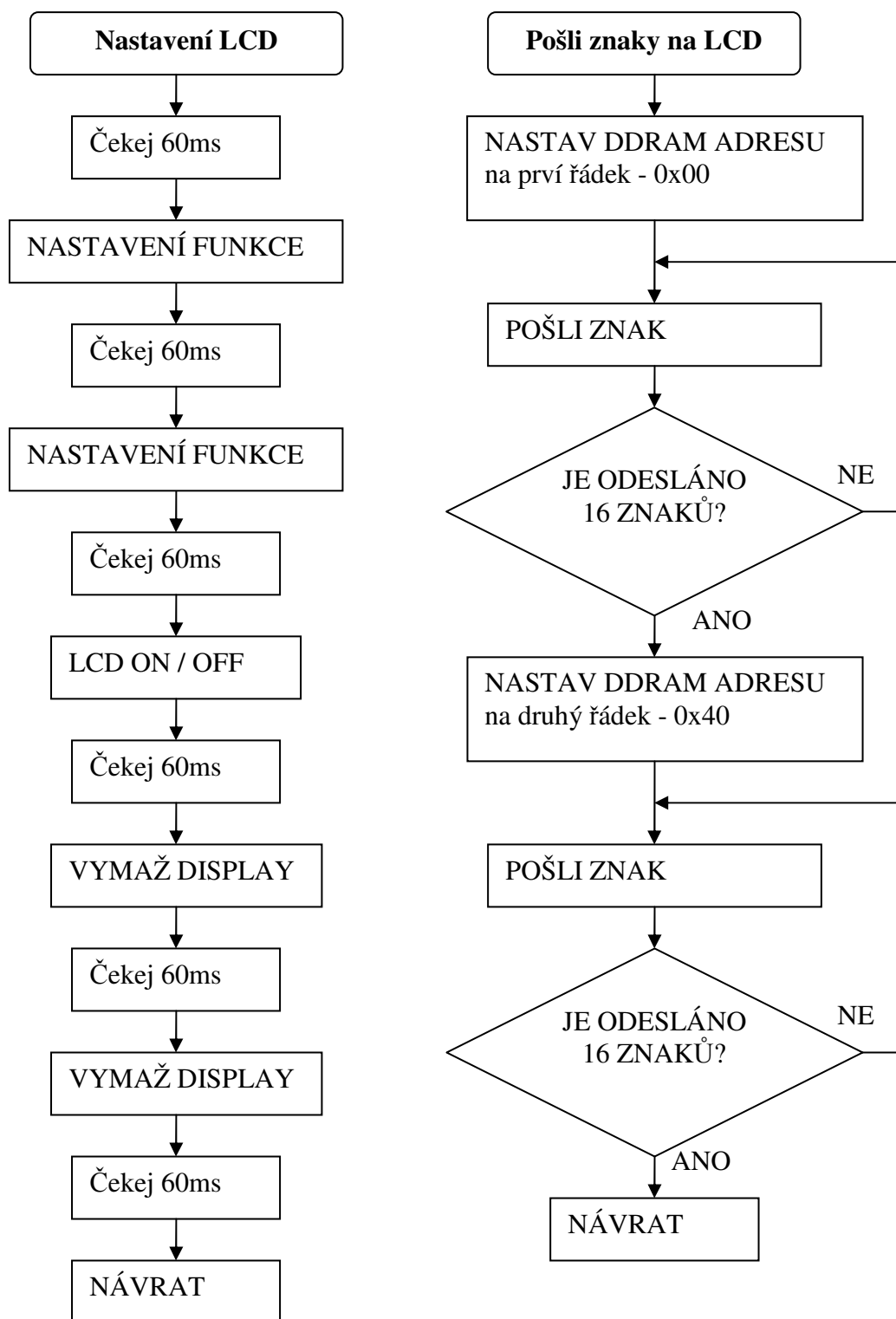
Tabulka 29. Otočení doleva

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM Adresa					0	0	1			D	O	W	N			
DDRAM Adresa	S	T	E	P	/	S	E	C	O	N	D					

Tabulka 30. Otočení doprava krokového motoru zobrazenou rychlostí jeden krok za sekundu při výchozím nastavení momentového proudu. Táto funkce má za úkol zátka krystalizátoru tahat směrem nahoru pokud je zátka nad krokovým motorem.

Tabulka 30. Otočení doprava

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM Adresa					0	0	1			U	P					
DDRAM Adresa	S	T	E	P	/	S	E	C	O	N	D					



Obrázek 28. Vývojový diagram nastavení LCD

Nejprve se při každém zapnutí jednotky rychlosti krokového motoru přes 8 bitovou komunikaci propojenou s MCU a LCD nastaví vnitřní nastavovací registry LCD a následně se posílají jednotlivé znaky na segmenty. Při každé změně rychlosti se obnoví data na display s aktuální nastavenou hodnotou.

4.5. MCU PIC18F14K22

Vlastnosti MCU

Operační rychlost až do 16 MIPS při 64 MHz oscilátoru (nastavená rychlost je 4 MIPS)

Napájecí napětí od 2.3V do 5.5V

Harvardská architektura s redukováná instrukční sada - RISC

8 bitová architektura

31 úroňový hardwarový zásobník (návratových adres)

8x8 Hardwarová násobička

Interní oscilátor 16 MHz

Velikost programové paměti 16kB, 8k (words)

Velikost datové paměti 512B + 256B EEPROM

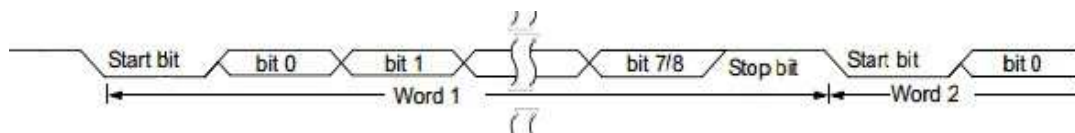
17 I/ O pinů a jeden vstupní pin

Interní EUSART modul (RS-485)

MCU - mikrokontrolér PIC jsou programovatelné polovodičové součástky - jednočipové mikropočítače vyráběnou firmou Microchip. Tyto obvody jsou určeny pro nejružnější kontrolní a řídicí úlohy v průmyslových oborech, pro realizaci měřicích a řídicích systémů. Díky své univerzální, malé velikosti, nízké ceně a spotřebě nacházejí své uplatnění ve velkém množství aplikací. Návrh zdrojového kódu je řešen pomocí vývojového nástroje MPLAB IDE tento balík obsahuje assembler, linker, softwarový simulátor a debugger. Kód je napsán v jazyce symbolických adres assembleru a je vyvíjen a odlaďován pomocí externího programátoru a debugru - PICKit 3.

4.6. EUSART asynchronní sériová linka

Eusart vysílá a přijímá data pomocí standartu non - return - to - zero (NRZ) realizace je ve dvou úrovních pro LOG 1 je úroveň Vysoká a pro LOG 0 je úroveň Nízká. Základem při posílání datových bitů stejné hodnoty je udržována stejná hodnota bez návratu do neutrální úrovně mezi jednotlivými bity stejné úrovně.



Obrázek 29. Přenosový diagram

Na obrázku 29. je průběh jednoho přenosu začínající jedním start bitem následně osmi datovými bity a je vždy ukončen jedním stop bitem.

Vnitřní obvod EUSART je řízen speciálními funkčními registry pro vysílací část TXSTA, přijímací část RCSTA a registrem nastavujícím přenosovou rychlost Baud Rate Generátor.

Dále jsou zde zvlášť posuvné přijímací a vysílací registry a jejich dávkovací registry TXREG a RCREG do kterých se zapisují nebo čtou přenášené data.

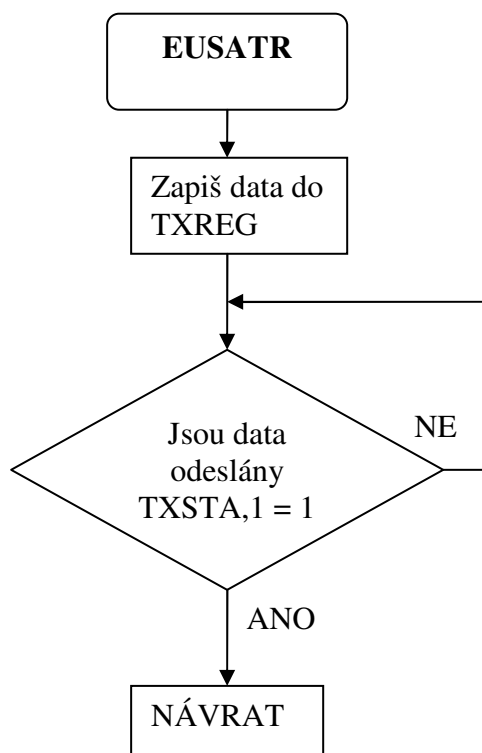
Pro správnou činnost je nutné nastavit přenosovou rychlost na hodnotu 9600 bps.

$$BRG = \frac{F_{osc}}{4 * (BR + 1)}$$

$$BRG = \frac{16000000}{4 * (9600 + 1)} = 416 \quad (4.6a)$$

Hodnota BRG se zapisuje do 8 bitových registrů SPBRGH = 0x01 a SPBRG = 0xA0 tímto způsobem se nastaví přenosová rychlost 9600 bps.

Následující nastavení je zapnutí sériového přenosu nastavení 8 bitového přenosu a asynchronní módu.



Obrázek 30. Vývojový diagram odesílání dat

Na obrázku 30. je zobrazená přenosová sekvence pro odesílání 8 bitových dat. Nejprve se zapíše do odesílacího registru TXREG data které chceme odesílat a následně se testuje kontrolní bit 1 v registru TXSTA na podmínku kompletního odeslání dat, nakonec se v z programu vrátíme.

4.7. Použité DT protokoly

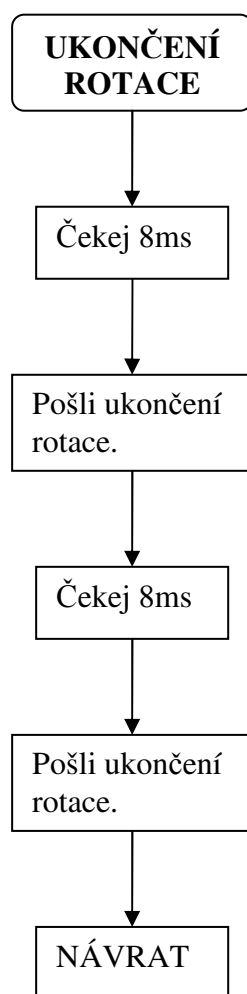
DT protokol obsahuje následující příkazy, adresa jednotky je 1 takže všechny protokoly budou pro tuto adresu.

4.7.1. Ukončení rotace

Prvním příkazem, kterým ukončuji rotaci krokového motoru z jakéhokoliv směru je ukončení aktuálně prováděného příkazu a zastavení krokového motoru.

Tabulka 31. Příkaz ukončení

Znak	ASCII hodnota	Popis znaku
/	47	Startovní znak
1	49	Adresa jednotky
T	84	Příkaz
R	82	Znak spuštění



Obrázek 31. Ukončení rotace

Na obrázku 31. je znázorněn vývojový diagram ukončení rotace krokového motoru. Ukončení je posláno dvakrát kvůli vyšší spolehlivosti a nevytvořenému potvrzovacímu programu o zpětném hlášení, je nahrazen časovou smyčkou 8ms je to průměrná doba potvrzovacího hlášení odvozen od sériové rychlosti přenosu 80 bitů.

$$T = \frac{1}{9600} * 8 * 10 = 8,33ms \quad (4.7.1a)$$

4.7.2. Nastavení rychlosti

Dalším příkazem je nastavení rychlosti vykonání (pootočení) jednoho kroku. Příkazem 'V' se nastaví požadovaná rychlost motoru (mikrokroků/sekundu), v režimu rychlosti lze měnit rychlost za chodu (otáčení). Příkaz 'V' nabývá hodnot od 255 do 65535 mikrokroků za sekundu při 256 mikrokroků na jeden krok. Z toho vyplývá při nejnižší rychlosti 255 (/1V255R) bude délka trvání jednoho kroku 1s. A při maximální rychlosti 65535 (/1V65535R) bude délka trvání jednoho kroku 255 s.

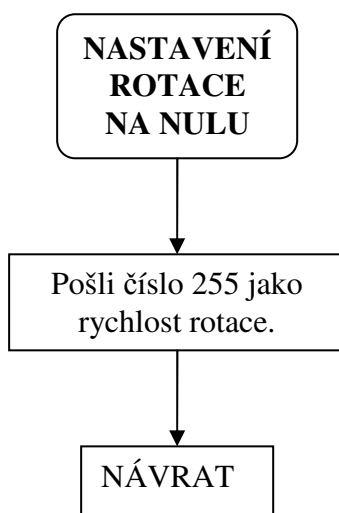
Tabulka 32. Nejnížší rychlost kroku

Znak	ASCII hodnota	Popis znaku
/	47	Startovní znak
1	49	Adresa jednotky
V	86	Příkaz
2	50	Hodnota
5	53	Hodnota
5	53	Hodnota
R	82	Znak spuštění

Tabulka 33. Nejvyšší rychlost kroku

Znak	ASCII hodnota	Popis znaku
/	47	Startovní znak
1	49	Adresa jednotky
V	86	Příkaz
6	50	Hodnota
5	53	Hodnota
5	53	Hodnota
3	51	Hodnota
5	53	Hodnota
R	82	Znak spuštění

4.7.3. Nastavení směru rychlosti na nulu



Obrázek 32. Nulování rotace

Nulování rotace je zapotřebí při dosažení nejvyšší rychlosti rotace kde dochází po zvýšení rychlosti k přetečení a nulování rychlostních registrů a je nutné aby se rotace nastavila na hodnotu 255 a následně ukončila, to způsobí klidovou polohu krokového motoru. Při následném zvýšení rychlosti nedojde nejprve k nastavení rychlosti ale nastaví se jako první směru rotace podle obrázku 33. a dalším přidání rychlosti se již nastaví hodnota rychlosti o stupeň výš.

4.7.4. Nastavení směru rotace

Pro rotaci motoru v kladném směru je použit příkaz 'P' jako hodnota je použito jen jedno číslo a to nula, která způsobí nekonečnou rotaci motoru na základě nastavené rychlosti příkazem 'V'. Při aktivním příkazu 'P' se spustí krokový motor a lze i nastavovat rychlost vykonání jednoho kroku příkazem 'V' bez nutnosti nastavovat znovu příkazem 'P' rotací motoru.

Tabulka 34. Pohyb v kladném směru

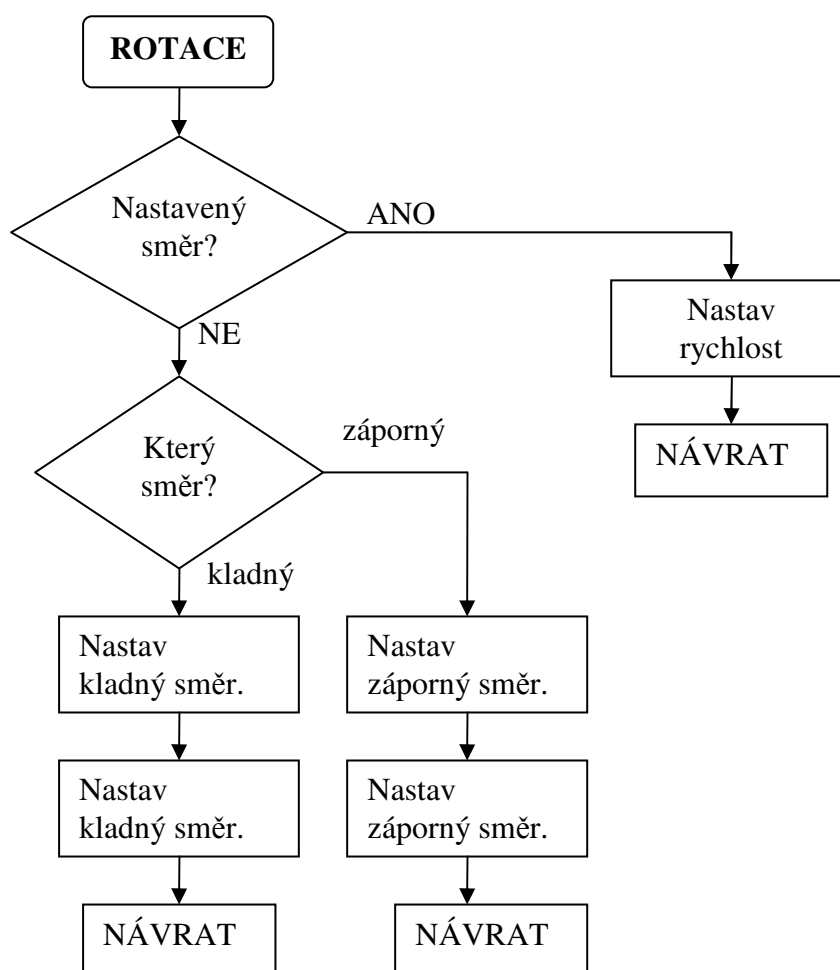
Znak	ASCII hodnota	Popis znaku
/	47	Startovní znak
1	49	Adresa jednotky
P	80	Příkaz
0	48	Hodnota
R	82	Znak spuštění

Pro pohyb motoru v záporném směru je použit příkaz 'D' jako hodnota je použito jedno číslo a to nula, která způsobí nekonečný pohyb motoru na základě nastavené rychlosti příkazem 'V'. Příkaz nebude pracovat pokud pozice motoru bude 0, pro změnu pozice lze použít příkaz 'z' pro nastavení jiné polohy nebo pomocí příkazem 'F' obrátit směr rotace.

V mém případě není použito optické čidlo, kterým se nastavuje poloha natočení krokového motoru, tím pádem nenastavuji pozici motoru protože pozice zde není využita.

Tabulka 35. Pohyb v záporném směru

Znak	ASCII hodnota	Popis znaku
/	47	Startovní znak
1	49	Adresa jednotky
D	68	Příkaz
0	48	Hodnota
R	82	Znak spuštění



Obrázek 33. Diagram rotace

Na obrázku 33. je znázorněn vývojový diagram pro nastavení směru a rychlosti rotace. Prvně se nastavuje kterým směrem bude rotace kladný nebo záporný směr, který je odvozený z inkrementálního spínače. Následně při další změně směru se už nenastavuje směr rotace ale jen rychlost rotace.

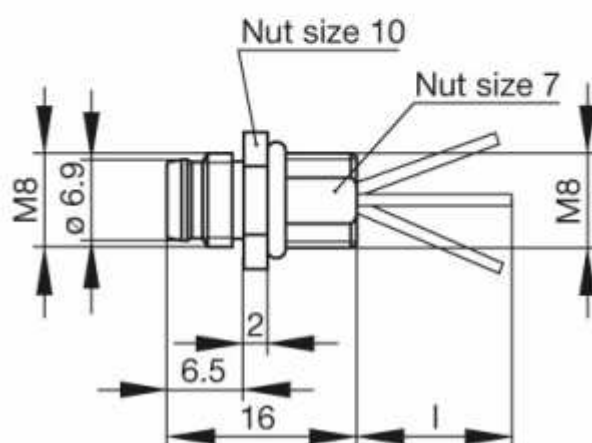
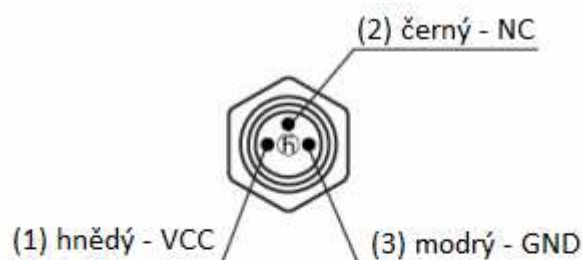
4.8. Napájení jednotky pro řízení rychlosti

4.8.1. Napájecí konektor na panel

Pro napájení řídicí jednotky pro R356 je použit panelový konektor od firmy hirschmann v kovové provedení s kabelovým vývodem pro připojení vnitřních částí elektroniky, a se závitovým přichycením na panel pomocí matice a vnějším venkovním závitem pro připojení napájecího přívodu. Napájení je společné jak pro vnitřní elektroniku řídicí jednotky tak pro napájecí jednotku dvoufázového krokového motorku. Konstrukce konektoru s pozlacenými kontakty je odolná až do 60V a pro proud 3A v teplotním rozsahu od -25 °C do 90 °C.

Tabulka 36. Přiřazení pinů napájecího konektoru - panel

PIN	BARVA	FUNKCE
1	Hnědý	Napájení +12V až +40V
2	Černý	Nepřipojeno
3	Modrý	Napájení GND



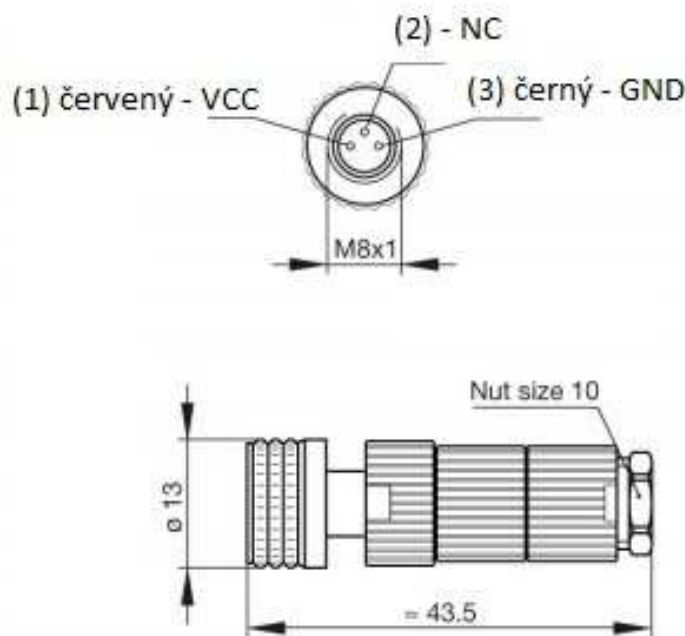
Obrázek 34. Napájecí konektor

4.8.2. Napájecí konektor na kabel

Napájecí přívodní kabel je připojen ke konektoru od firmy hirschmann v PVC provedení se šroubovou maticí k pevnému přichycení k panelovému konektoru. Připojovací kabel je kruhového průměru 4mm až 5mm s průměrem jedné žíly 1,00 mm až 1,55 mm. Konstrukce konektoru s pozlacenými kontakty je odolná až do 60V a pro proud 3A v teplotním rozsahu od -25 °C do 70 °C.

Tabulka 37. Přiřazení pinů napájecího konektoru

PIN	BARVA	FUNKCE
1	Červaná	Napájení +12V až +40V
2	bez vodiče	Nepřipojeno
3	Černá	Napájení GND



Obrázek 35. Napájecí konektor - vodič

Konstrukce konektoru je vyobrazená na obrázku 35. jednotlivé části do sebe zapadají pomocí šroubování, pro připojení kabelu je zapotřebí vybrat správný typ nástavce, v mém případě je vybraný nástavec šedý pro průměr žíly vodiče 1,35mm až 1,55mm, do kterého se zasouvají jednotlivé kabely v délce odizolování 14 až 16 mm k pevnému zafixování vodiče slouží protikus a šroubová spojka s jehlovými trny pro nepřipojené kontaktní připojení.

Závěr

V bakalářské práci bylo za úkol navrhnout způsob řízení zátky krystalizátoru plazmové pece a vyrobit prototyp ovládací jednotky jako náhrada stávajícího řešení s PC.

Výsledkem je pracující zařízení s možností nastavení požadované rychlosti a zobrazení aktuální hodnoty na LCD display.

Většinu času jsem strávil na vývoji zdrojového kódu pro mikroprocesor, pomocí kterého testuji inkrementální spínač, řídím LCD display a posílám příkazy přes linku RS-485 do jednotky R356. Zpočátku zprovoznění jednotky rychlosti a jednotky R356 byl problém v poslání příkazu na určitou činnost, výsledkem byla nezměněná poloha krokového motoru, příčinou byla nastavená jiná výchozí rychlost asynchronní sériové linky na jednotce R356, proto nechávám všechny výchozí hodnoty nezměněné a posílám jen příkazy na směr rotace, rychlosti rotace a příkaz pro ukončení všech probíhajících příkazů. To mi způsobilo další problém díky tomu, že výchozí nastavení rychlosti (Velocity) má nastavenou hodně vysokou hodnotu a pokud jsem chtěl zvýšit rychlost krokového motoru po připojení k napájecímu napětí výsledkem bylo roztočení krokového motoru na hodnotu s výchozím nastavením (Velocity). Ošetření tohoto problému je hned po připojení napájení poslat do jednotky příkaz o zvýšení rychlosti a následně poslat příkaz na snížení rychlosti. Dále se mi stalo, že docházelo k nepravdělné reakci na zastavení a nastavení směru rotace proto posílám tyto příkazy posílám dvakrát za sebou a po této změně již k tomu nedocházelo. Příčinou může být neimplementované zpětné hlášení do zdrojového kódu v jednotce rychlosti z jednotky R356 nebo rušení na přenosové cestě, do budoucna bych doporučil dodělat toto ověření správnosti přijatého příkazu. Na LCD displeji jednotky řízení rychlosti jsou zobrazeny data o nastavené rychlosti od 0 až po 255 kroků za sekundu a aktuální směr pohybu (UP, STOP a DOWN), bohužel tento display nemá podsvícení takže nemůže být použit v prostředí s nízkou intenzitou světla, lze toto vyřešit výměnou LDC displeje za displej s podsvícením. Vnitřní rozložení na desce plošných spojů je k tomu přizpůsobeno pomocí proměnného trimru a tranzistoru. Dále lze nastavit i kontrast pomocí trimru.

Použitá literatura

- [1] Vacek, Václav. *Učebnice programování PIC: programování procesoru PIC*. Ilustrovala Václava Vacková. 1.vyd. Praha: BEN, 2000. 144 s. ISBN 80-8605-687-2
- [2] *Microchip* [online]. [cit. 2014-01-08]. Dostupné z URL: < <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?produkt=PIC18F14K22> >
- [3] *Hirschmann* [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z URL: < <http://www.hirschmann.com/> >
- [4] *Maxim Integrated* [online]. [cit. 2014-01-08]. Dostupné z URL: < <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/1111> >
- [5] *Schmachtl* [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z URL: < <http://www.schmachtl.cz/inkrementalni-enkodery> >
- [6] Maxim Integrated. *RS-485* [online]. 1998 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z URL: < <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html> >
- [7] Lin Engineering. *Single axis controller driver R356* [online]. [cit. 2014-01-08]. Dostupné z URL: < <http://www.linengineering.com/driverscontrollers/r356.aspx> >
- [8] *Servo-Drive* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z URL: < http://www.servo-drive.cz/stepper_actuators_high_speed_high_resolution_nema17.php >
- [9] *Ascii code* [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z URL: < <http://www.ascii-code.com/> >
- [10] *Arcus Technology* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z URL: <<http://www.arcus-technology.com/products/15.html> >
- [11] *All Motion* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z URL: < <http://www.allmotion.com/EZHR17ENDescription.htm> >
- [12] *Amci* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z URL: <<http://www.amci.com/stepper-motor-control/stepper-motor-drive-sd7540.asp>>
- [13] *Uirobot* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z URL: <<http://www.uirobot.com/en/info.asp?id=101> >

Přílohy

Příloha I: CD s výpisem programu řízení rychlosti, vývojové diagramy, schéma a DPS